

RADDRIZZATORE A DIODI

Introduzione

Spesso si è alle prese con i raddrizzatori a diodi ed è necessario dimensionare la capacità e le caratteristiche dei diodi. Di seguito presentiamo un metodo non rigoroso ma semplice e veloce per ottenere le informazioni che servono.

I dati iniziali necessari al dimensionamento sono:

- Valore efficace della tensione alternata $V_{eff} = 230V$
- Potenza massima prelevata ai capi del condensatore $P_L = 1500W$
- Ondulazione massima accettabile, in percentuale, sul condensatore $\Delta V\% = 20\%$

Si vuole ricavare:

- Capacità di livellamento C
- Corrente nei diodi I_d
- Corrente massima nei diodi I_{dM}

Per ottenere i risultati in modo pratico e veloce occorre fare alcune approssimazioni.

Consideriamo la forma d'onda tipica della tensione ai capi del condensatore di livellamento nelle condizioni di carico (Fig.1)



Figura 1

La forma d'onda è costituita da un tratto di cosinusoide R-B ed un tratto di esponenziale B-T, a cui corrisponderà una tensione massima V_M ed una tensione minima V_m .

La tensione massima si ricava applicando la relazione che intercorre tra il valore efficace ed il valore di picco di una forma d'onda cosinusoidale, cioè:

$$V_M = V_{eff} \cdot \sqrt{2} = 230 \cdot 1,4142 = 325V \quad (1)$$

Tale tensione corrisponde alla massima tensione a cui è sottoposto il condensatore a meno della caduta di tensione sui diodi che è di circa 1V per ogni diodo attraversato dalla corrente di carica, in questo caso è trascurabile.

Per cui ricaviamo la tensione minima sul condensatore togliendo da questa l'ondulazione massima percentuale accettabile (dato di progetto):

$$V_m = V_M \cdot \left(1 - \frac{\Delta V \%}{100}\right) = 325 \cdot \left(1 - \frac{20}{100}\right) = 325 \cdot 0,8 = 260V \quad (2)$$

Dalla (1), dalla (2) e con la potenza assorbita dal condensatore (dato di progetto), ricaviamo:

La corrente massima sul carico $I_{LM} = \frac{P_L}{V_m} = \frac{1500}{260} = 5,77A$ (3)

Resistenza minima di carico $R_{Lm} = \frac{V_m^2}{P_L} = \frac{67600}{1500} = 45,0\Omega$ (4)

Per completezza calcoliamo anche la corrente minima sul carico I_{Lm} :

$$I_{Lm} = \frac{P_L}{V_M} = \frac{1500}{325} = 4,61A \quad (5)$$

Occorre notare che la potenza assorbita dal condensatore non è quella prelevata dopo il sistema di regolazione che è inferiore a causa delle perdite del regolatore. In prima approssimazione si può considerare un rendimento del 70% nei regolatori Switching e del 50% in quelli lineari. Per cui la potenza prelevabile a valle del sistema di regolazione diventa:

$$P_U = P \cdot \eta = 1500 \cdot 0,7 = 1050W \quad (6)$$

Ora facciamo alcune approssimazioni. Il tratto di esponenziale B-T di Fig.1 lo approssimiamo con la retta tangente all'esponenziale nel punto B e lo prolunghiamo fino ad incontrare la perpendicolare in T. Nella Figura 2 tale tratto è rappresentato dal segmento B-E. Poi consideriamo che l'ondulazione massima $V_M - V_m$ sia uguale al segmento D-E. Infine il prolungamento della tangente nel punto B intercetterà l'asse dei tempi nel punto F di Fig.2, così il tratto A-F rappresenta la costante di scarica del complesso resistenza di carico e condensatore di livellamento (7).

$$A-F = \tau = R_L C \quad (7)$$

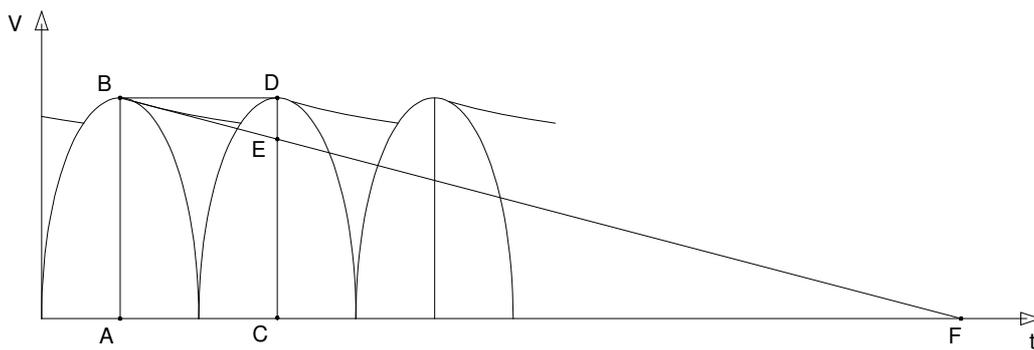


Figura 2

Nella nostra approssimazione abbiamo di fronte due triangoli rettangoli simili: il triangolo BDE ed il triangolo ABF dei quali conosciamo tutti i cateti salvo il cateto A-F. Infatti:

$$A-B = V_M = 325V \quad (8)$$

$$B-D = A-C = \text{al periodo } T \text{ della forma d'onda raddrizzata, nel nostro caso } 10mS \quad (9)$$

$$D-E = V_M - V_m = 325 - 260 = 65V \quad (10)$$

Applicando la nota regola dei triangoli simili, otterremo che:

$$A-B : D-E = A-F : B-D \quad (11)$$

Dalla (11) è facile ricavare il lato A-F, infatti:

$$A-F = (A-B)(B-D)/(D-E) \quad (12)$$

Se poi alla (12) sostituiamo i rispettivi valori (7), (8), (9), (10) e consideriamo cautelativamente nella (7) come R_L la resistenza di carico minima R_{Lm} otterremo la capacità di livellamento:

$$C = \frac{V_M \cdot T}{(V_M - V_m)R_{Lm}} = \frac{325 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{65 \cdot 45,0} = 1,1mF \quad (13)$$

Il primo risultato ottenuto è quindi la capacità di livellamento C che sarà scelta del valore commerciale più grande e vicino a quello ottenuto. Nel caso si usi un solo condensatore si sceglierà $C = 1,2mF$.

Consideriamo ora le correnti Fig.3.

Nel periodo di scarica t_{off} (tratto A-N) il condensatore C perde la carica a causa della corrente prelevata, che decresce al calare della tensione ai suoi capi. Anche in questo caso la forma d'onda è di tipo esponenziale ed è tracciata in Fig.3 con il tratto B-H. La tensione nel punto B è $V_M = 325V$, mentre nel punto H abbiamo convenuto che fosse $V_m = 260V$. La variazione di tensione è $V_M - V_m = 65V$, per cui la carica persa dal condensatore è:

$$Q_{off} = C \cdot (V_M - V_m) = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 65 = 78mC \quad (14)$$

La stessa quantità di carica deve essere guadagnata nel tempo di conduzione dei diodi t_{on} che è rappresentato dal tratto N-C.

Il tratto N-C si ricava trovando l'angolo di conduzione e cioè l'angolo il cui la cosinusoide diventa uguale alla tensione minima V_m espresso dal punto H in Fig.3.

$$\varphi_{on} = \arccos\left(\frac{V_m}{V_M}\right) = \arccos\left(\frac{260}{325}\right) = 36,87^\circ \quad (15)$$

Per ottenere il tempo dalla (15) si fa una proporzione

$$180^\circ : 36,87 = 10mS : t_{on} \quad (16)$$

risolvendo la (16) si ottiene:

$$t_{on} = \frac{\varphi_{on} \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{180} = \frac{36,87 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{180} = 2,04mS \quad (17)$$

Bilanciando la carica avremo che nel periodo di t_{on} i diodi dovranno erogare la carica rappresentata dall'area sottesa al triangolo NMC che approssima la forma d'onda reale. Per cui la carica ceduta sarà rappresentata dall'area del triangolo NMC e cioè:

$$Q_{on} = \frac{I_{dM} \cdot t_{on}}{2} \quad (18)$$

Dalla (18) si ricava facilmente I_{dM} perché $Q_{on} = Q_{off}$ calcolato in precedenza con la (14). Per cui si ha:

$$I_{dM} = \frac{2 \cdot Q_{on}}{t_{on}} = \frac{2 \cdot Q_{off}}{t_{on}} = \frac{2 \cdot C \cdot (V_M - V_m)}{t_{on}} = \frac{2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 65}{2,04 \cdot 10^{-3}} = 76,47A \quad (19)$$

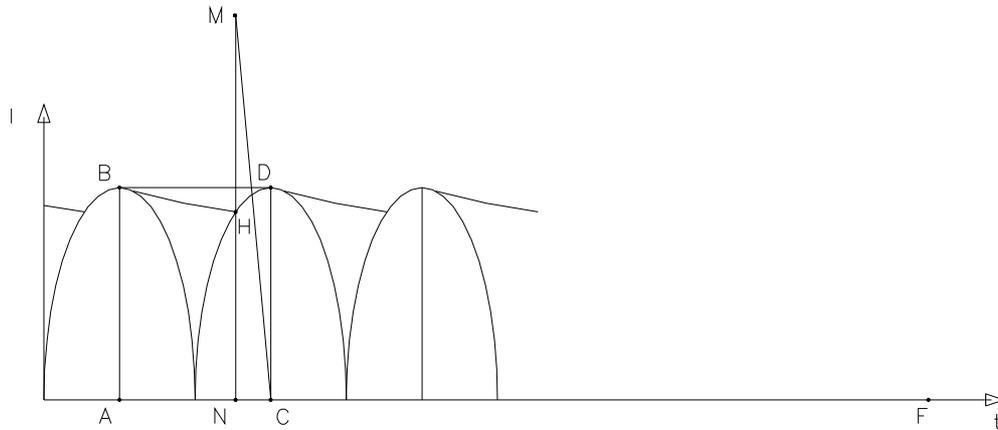


Figura 3

La corrente I_{dM} risulta essere quella di picco a cui è sottoposto il diodo ogni periodo T , nel foglio dati dei costruttori di diodi è detta I_{FRM} e si prende in considerazione il valore a 100°C .

Non è però sicuramente quella massima a cui è sottoposto il diodo!

Infatti all'accensione i diodi devono caricare l'intero condensatore di livellamento C e portarlo alla tensione massima. Se ipotizziamo: che l'operazione avvenga durante il primo semiperiodo $T/2$ e che la forma d'onda sia ancora quella triangolare, potremo calcolare il valore della corrente massima iniziale I_{dMi} nei diodi con la formula (19) del bilancio di carica.

La carica richiesta all'accensione sarà Q_i :

$$Q_i = C \cdot V_M = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 325 = 390 \text{mC} \quad (20)$$

così la (19) diviene:

$$I_{dMi} = \frac{2 \cdot Q_i}{T} = \frac{4 \cdot Q_i}{T} = \frac{4 \cdot C \cdot V_M}{T} = \frac{4 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 325}{5 \cdot 10^{-3}} = 312 \text{A} \quad (21)$$

Il valore di corrente è decisamente rilevante, ma si verifica solo all'accensione e spesso è entro i limiti previsti dal costruttore. Aggiungiamo anche tale corrente nel foglio dati dei costruttori di diodi è detta I_{FSM} e si tiene in considerazione il valore a 25°C .

Quindi i diodi devono essere scelti:

- in grado di sopportare una tensione inversa ripetitiva di almeno 400V
- in grado di sopportare una corrente media di $I_{LM} = 5,77\text{A}$
- in grado di sopportare una corrente ripetitiva massima di $I_{dM} = 76,47\text{A}$
- in grado di sopportare una corrente di picco non ripetitiva di $I_{dMi} = 312\text{A}$

Per completezza è opportuno controllare il calore generato dai diodi durante il loro funzionamento tramite i grafici forniti dai costruttori e curarne la dissipazione.

Il condensatore di livellamento deve avere la tensione di lavoro superiore alla tensione massima $V_M = 325\text{V}$ e deve avere un basso valore ESR (resistenza serie) per essere in grado di sostenere le forti correnti di carica.

Utilizzando il duplicatore di tensione, tipico per prendere l'alimentazione anche dalla rete a 115Vac, dovremo valutare lo schema di Fig.4 col ponticello inserito.

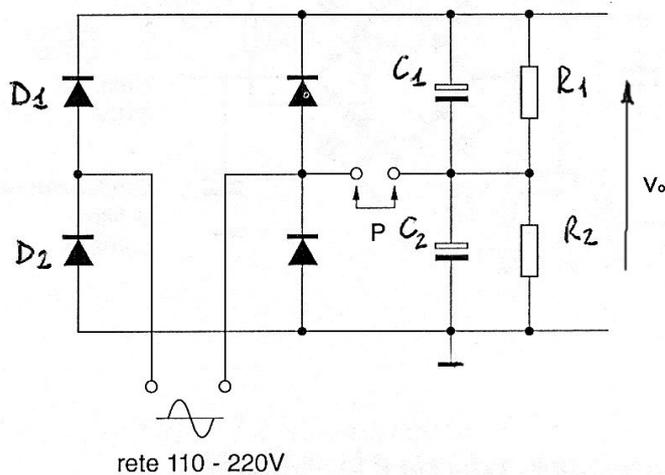


Figura 4

In tali condizioni vedremo lavorare alternativamente i diodi D_1 e D_2 mentre gli altri due non lavorano. Il diodo D_1 carica durante la semionda positiva il condensatore C_1 mentre il diodo D_2 carica durante la semionda negativa il condensatore C_2 . Ogni condensatore è sottoposto alla tensione V_M così il carico vedrà la tensione $V_O = 2 V_M$.

Se invece il ponticello è disinserito il circuito lavora a ponte ed i due condensatori sono in serie e la capacità vista dai diodi è dimezzata. Le due resistenze R_1 ed R_2 servono per bilanciare la tensione sui due condensatori che sono singolarmente sottoposti alla metà della tensione V_M , in modo d'avere $V_O = V_M$.

Quindi quando si utilizza la configurazione a duplicatore di tensione i diodi lavorano a singola semionda $T = 20\text{mS}$ e la capacità che ogni diodo vede è quella del suo rispettivo condensatore C_1 o C_2 .

Nelle condizioni sopra i diodi sono molto più sollecitati rispetto alla condizione a ponte, per cui i valori che si trovano considerando la configurazione a duplicatore vanno sicuramente bene anche per la configurazione a ponte.